



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

农田灌溉与排水

农业水利技术专业

李宗尧 于纪玉 合编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

责任编辑 陈薇

农业水利技术专业

水利工程测量
工程水文基础
● 农田灌溉与排水
水泵与水泵站
水工建筑物
水利工程施工与概预算
电工与电气设备
土壤与农作
灌区实习
综合实践

水利水电工程技术专业

水力学基础
建筑结构基础
水利水电工程基础
水工建筑物
水利水电工程施工技术
水利水电工程施工组织与工程造价
水利水电工程管理
水利水电工程经营管理
建筑材料实验实训
土工试验实训
工种施工实习实训
工程造价编制实训

ISBN 7-5084-1349-0



9 787508 413495 >

ISBN 7-5084-1349-0 / TV · 291

定价：12.60 元

中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

农田灌溉与排水

(农业水利技术专业)

李宗尧

于纪玉

责任主审

审 稿

合编

张勇传

郭元裕

雷声隆



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

中等职业教育国家规划教材

出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成〔2001〕1 号）的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲（课程教学基本要求）编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

2002 年 10 月

前 言

《农田灌溉与排水》是根据中等职业学校农业水利技术专业（重点建设专业）主干专业课程《农田灌溉与排水》教学大纲进行编写的。全书共分七章，主要介绍农田灌溉与排水的基本理论、灌排工程规划设计的基本方法、灌排水技术的基本知识等。

我们本着突出实用、注重创新、服务培养目标、紧扣教学要求的原则进行编写，内容上力求深浅适宜，避免偏多偏深；文字力求精炼，叙述通俗易懂，可读性强；注重理论联系实际，多举示例；尽可能反映近年来农田灌溉与排水方面的新技术、新方法、新成果、新工艺、新规范。

本书由山东水利职业学院于纪玉副教授（第五、六、七章）和安徽水利水电职业技术学院李宗尧副教授（第一、二、三、四章）合编。全书由李宗尧副教授统稿。

本书经全国中等职业教育教材审定委员会审定，由华中科技大学张勇传院士担任责任主审，武汉大学郭元裕、雷声隆教授审稿，中国水利水电出版社另聘北京水利水电学校胡希文主审了全稿，提出了许多宝贵的修改意见，在此一并表示感谢。

书中存在错误和不妥之处，恳请广大师生和读者批评指正。

编 者

2002年6月

目 录

出版说明

前 言

第一章 绪论	1
第一节 灌溉排水在我国农业发展中的作用	1
第二节 灌溉排水事业的发展	3
第三节 灌溉排水的主要内容	5
思考与练习	5
第二章 灌溉用水量	6
第一节 农田水分状况	6
第二节 作物需水量计算	10
第三节 作物的灌溉制度	12
第四节 灌溉用水量	25
思考与练习	28
第三章 灌溉水源与灌区水量平衡计算	31
第一节 灌溉水源	31
第二节 灌溉取水方式	34
第三节 灌区水量平衡计算	36
思考与练习	40
第四章 灌溉渠系规划设计	42
第一节 灌溉渠系规划布置	42
第二节 渠系建筑物的选型与布置	46
第三节 渠道流量计算	51
第四节 渠道断面设计	60
思考与练习	73
第五章 田间工程与灌水方法	74
第一节 田间工程	74
第二节 地面灌溉	80
第三节 常用节水灌溉技术简介	89
思考与练习	98
第六章 排水系统规划设计	99

第一节	农田排水的任务与要求	99
第二节	田间排水网的布置	103
第三节	骨干排水系统布置	110
第四节	排水沟道设计	112
第五节	排水容泄区	120
	思考与练习	121
第七章	井灌规划	123
第一节	地下水资源评价	123
第二节	单井设计	131
第三节	井灌区规划	138
	思考与练习	141
	参考文献	143

第一章 绪 论

第一节 灌溉排水在我国农业发展中的作用

中国是一个农业大国，又是一个水资源不足、时空分布不均衡、旱涝灾害频繁的国家。因此，灌溉排水事业对我国农业生产的发展具有十分重要的意义。

我国地处欧亚大陆东部，属北温带和亚热带，气候适宜，热资源充足，水稻、小麦、大豆、玉米等粮食作物和棉、麻、油、糖等经济作物均可种植，不少地区农作物可一年两熟或三熟。我国地势西高东低，水系纵横交错，既为灌溉提供了水源，也为排水提供了出路。

但是，我国人多地少，降水和水资源时空分布不均，自然灾害频繁，可供利用的水资源不足，给农业生产的发展带来了不利影响。

据统计，我国总耕地面积约 1.3 亿 hm^2 (19.51 亿亩)，仅占国土面积的 13.7%，人均耕地仅有 1.59 亩，相当于世界人均耕地 3.75 亩的 43%，不到印度的 1/2，加拿大的 1/5，美国的 1/6，甚至俄罗斯的 1/8。全国现有 666 个县低于联合国粮农组织确定的人均耕地 0.8 亩的警戒线。

我国降水总量较少，降水分布不均。年均降水总量为 61889 亿 m^3 ，折合年降水深 648mm，既小于全球陆面年均降水深，也小于亚洲陆面年均降水深。我国地域辽阔，地形变化复杂，全国降水量在地区上的分布极不均衡，总的趋势是由东南沿海向西北内陆地区递减，东南沿海年均降水量超过 1600mm，西北的荒漠地区年均降水量则不到 200mm。秦岭、淮河以南年均降水量一般在 800mm 以上，属湿润和半湿润地区；秦岭、淮河以北年均降水量一般小于 800mm，属于干旱和半干旱地区。由于天然降水量不能满足农作物的需水要求，必须采取灌溉措施才能保证农作物丰收。

降水量年际和年内变化很大。我国南部地区最大年降水量一般是最小年降水量的 2~4 倍，北部地区一般是 3~6 倍，且常有连续丰水年和连续枯水年出现。据资料分析，20 世纪 30 年代是丰水期，40 年代是相对枯水期，50~60 年代初是丰水期，1963~1990 年又经历了较长时间的枯水期。1991~1998 年，我国连续发生了 5 年流域性大洪水。全国多数地区的雨季为 4 个月，南部多在 4~7 月份，4 个月的降水量占年降水量的 50%~60%；北部多在 6~9 月份，4 个月的降水量约占年降水量的 70%~80%。我国最大与最小月降水量的比值一般可达十几倍或几十倍。

水资源总量相对不足，时空分布不均。我国年均水资源总量为 28124 亿 m^3 ，居世界第 6 位，而人均水资源占有量仅为 2200 m^3 ，只相当于世界人均占有量的 1/4，居世界第 121 位。我国年均河川径流量为 27115 亿 m^3 ，折合年径流深 284mm，低于全球 315mm 的年均径流深。因降水是我国河川径流最主要的补给来源，所以，我国河川径流量的时空分

布和降水量的时空分布有着基本一致的规律和特征,河川径流的年际和年内变化与降水量的年际和年内变化有着十分密切的相关关系。降水量多的湿润地区一般也是河川径流量充沛的丰水地区,降水量少的干旱地区往往也是河川径流量贫乏的缺水地区。我国南部地区最大年径流量一般为最小年径流量的2~4倍,北部地区一般为3~8倍。多数地区连续4个月的最大径流量一般占全年径流量的60%~80%。

降水和水资源的地区分布与人口和耕地的分布很不适应,资源组合不合理。我国水资源分布形成南部有余,北部不足的不利局面,影响和制约着农业的布局与发展。长江及其以南各流域,年径流量占全国年径流总量的82%,但耕地面积只占全国总耕地面积的38%,人口占全国总人口的54.7%;黄、淮、海三大河流域,年径流只占全国年径流总量的6.6%,但耕地面积却占全国总耕地面积的38.5%,人口占全国人口总数的34.7%,水土资源组合与人口分布极不平衡。

水旱灾害严重制约着我国农业生产的发展。降水量和水资源量的时空分布不均衡是造成水旱灾害的根本原因。据史料记载,从公元前206年到1949年的2155年间,我国共发生过较大的水灾1029次,较大的旱灾1056次,几乎年年有灾。从1950~1986年,全国平均每年水旱灾害受灾面积0.267亿 hm^2 (4亿多亩),成灾面积0.13亿 hm^2 ,占耕地面积的10%以上,其中每年旱灾面积约0.23亿 hm^2 ,成灾面积0.067亿 hm^2 。20世纪80年代后,全国水旱灾害呈增加的趋势。80年代全国年均受灾面积0.34亿 hm^2 ,成灾面积0.167亿 hm^2 ;90年代增加到0.447亿 hm^2 ,成灾面积0.227亿 hm^2 ,每年减产250亿kg。我国每年水灾面积0.067多亿 hm^2 ,主要发生在东部大江大河的中下游地区,其中以黄淮海地区和长江中下游地区最为严重,受灾面积约占全国的3/4以上。我国大部分地区都有可能发生旱灾,其中松辽平原、黄淮海平原、黄土高原、四川盆地以及云贵高原等地,旱灾次数较多,灾情较为严重,全国约有70%的受灾面积分布在这些地区。尤以黄淮海平原旱灾最为严重,其受旱面积约占全国受旱面积的一半以上。

但应该看到人类活动是造成灾害频发和加重灾害程度的另一重要原因。随着经济社会的发展,人类向大自然无节制的索取,产生了一系列的问题。如由于生态环境破坏,水土流失严重,造成江河湖库淤积;过度围湖造田,侵占河道,降低了河湖库的行、泄洪能力和调蓄能力,加剧了洪水灾害;水体污染,造成了严重的水质性缺水和生态问题。我国水污染日趋严重,水资源供需矛盾日益加剧。全国每年排放废污水总量近600多亿t,其中约80%未经处理直接排入水域。据调查,全国90%以上的城市水域被污染,并迅速向农村蔓延。日趋严重的水污染不仅破坏了生态环境,而且进一步加剧了本来就十分严峻的水资源短缺的矛盾。由于缺水,导致过量开采地下水,产生许多不良后果,如单井出水量减少,提水成本增加,浅井报废,机泵更换,海水入侵,水质恶化,地面下沉等,对经济建设造成极为不良的影响。

综上所述,我国农业生产的发展有着有利的条件,但人多地少,水资源不足,降水量时空分布不均,与农业用水要求很不一致,供需矛盾突出,水旱灾害频繁,生态环境恶化,影响范围遍及全国。在这种特定的自然条件和人类活动的影响下,只有通过兴修灌溉排水工程,强调水资源的合理开发、利用、治理、节约、保护和优化配置,提高抵御水旱灾害和水资源的承载能力,强化人与自然和谐相处意识,才能为农业生产创造一个良好的

发展环境。

第二节 灌溉排水事业的发展

几千年来,我们的祖先为了抵御自然灾害,发展农业生产,很早就兴修了灌溉排水工程。大禹治水的传说,反映了我国治水历史的悠久。3000多年前,商代出现了用作灌溉排水的“沟洫”;公元前6世纪,楚国人民兴建了芍陂(今安徽省寿县城南30km的安丰塘),它是利用天然湖泊构筑周长65km的塘堤,形成总库容为 1.71 亿 m^3 的大型水库,引蓄淠河水进行灌溉,这是我国有历史记载的最早的蓄水灌溉工程;公元前4世纪,魏国时期西门豹治邺(今河北临漳)时,在漳水两岸修建了兼起分洪作用的12条灌溉渠道,这是我国最早的引水灌溉工程;公元前256年,秦国蜀郡守李冰带领百姓在岷江上兴修了我国古代最大的灌溉工程——都江堰,渠首位于四川省灌县(今四川省都江堰市),灌区内有干、支渠500多条,总长度约1200 km,灌溉农田20多万 hm^2 (300多万亩),使成都平原成为“水旱从人,不知饥馑”的“天府之国”。后经多次改建和扩建,一直沿用至今,发挥了巨大的工程效益,现已成为灌溉34个县市66.67多万 hm^2 (1000多万亩)农田的大型灌区。这项工程规划合理、设计精巧、管理完善,具有很高的科学性和创造性,充分显示了我国古代劳动人民的聪明才智。战国时期,在陕西省境内开凿了150 km长的郑国渠,沟通了泾水和北洛水,灌溉农田上百万亩;还有白渠、龙首渠,宁夏的秦渠、汉渠、唐徕渠,均已有上千年历史,至今还发挥着效益。20世纪30年代,陕西省建成泾惠、洛惠、渭惠等大型自流灌区,积累了一套灌区建设和管理的经验,为农田灌溉发展史谱写了新篇章。

在防洪、除涝、排水方面,大约3000年前我国已采用井田沟洫制,有了相当完备的明沟排水系统。唐宋时期已出现大型排水工程,如河北沧州的无棣沟、任丘县的通利渠等。五代时期,在江苏太湖流域已建成纵横交错的河网,既可用以灌溉,又可进行除涝和航运。

我国灌溉排水有着悠久的历史,历代劳动人民创造了许多宝贵的治水经验,为我国农业生产的稳步发展奠定了良好的基础。但是漫长的封建社会,我国农业生产发展缓慢,以灌溉排水为主要内容的农田水利建设停滞不前。到1949年中华人民共和国成立时,全国仅有灌溉面积0.16亿 hm^2 (2.4亿亩),灌排工程的基础十分薄弱。

新中国成立50多年来,农田灌溉排水事业取得了巨大成就。至2000年底,我国已建成大、中、小型水库8.5万余座,总库容达5183亿 m^3 ;全国有效灌溉面积累计达0.55亿 hm^2 (8.25亿亩);节水灌溉面积达0.167亿 hm^2 (2.5亿亩),其中喷灌、滴灌和微灌等现代化节水灌溉面积已超过173.3万 hm^2 ;配套机井398万眼,每年提取利用地下水850多亿 m^3 ,灌溉农田0.148亿 hm^2 (2.22亿亩);机电排灌站50余万处,机电排灌面积0.3687亿 hm^2 ,排灌机械装机容量4157万kW;万亩以上灌区5683处,灌溉面积0.245亿 hm^2 ;除涝面积累计达0.21亿 hm^2 ,占全国易涝面积的85%;盐碱地改良58.67万 hm^2 ,占盐碱耕地的76%;治理渍害低产田330多万 hm^2 ,占渍害低产田的33%以上。灌溉排水工程在抵御水旱灾害、保障农业生产方面发挥了巨大的作用,取得了显著的效

果。许多灌区，如宁夏、内蒙古、河南等省（区）的引黄灌区，四川省的都江堰灌区，陕西省的泾惠渠、洛惠渠和宝鸡峡引渭灌区，安徽省的淠史杭灌区，湖南省的韶山灌区等，都已成为中国商品粮的重要基地。50多年来，我国人口增长了1倍，人均耕地减少50%，但人均灌溉面积却增加了50%，全国粮食总产量增加4倍多，其中占全国总耕地面积1/3的灌溉土地上生产了占全国75%的粮食、80%的棉花和90%的蔬菜。尽管粮食增产是由各种农业技术措施综合作用的结果，但灌溉发展所起的主导作用则毋庸置疑。我国能以占世界不足10%的耕地养活了占世界22%的人口，灌溉的确发挥了巨大作用。

但是，应该看到我国灌溉排水工程的现状还远不能适应现代农业生产发展的需求，面临的形势依然十分严峻。目前，全国还有2/3的耕地没有灌溉设施，即使有灌溉设施的耕地抗旱标准也不高，农业整体上还没有摆脱靠天收的局面；灌溉排水设施老化失修，效益衰减，严重威胁到农业基础的稳定；灌水技术落后，用水浪费严重，直接妨碍农业现代化的发展；不少农田灌排工程还遭到一定程度的破坏，排灌无法正常进行；有些灌区工程不配套，设备利用率低，效益不高；许多灌排工程管理技术落后，管理水平低下。据统计，全国248座大型灌区和100多座大型排灌站，有1/3严重老化失修；全国灌溉水平平均利用率仅为0.4左右，比发达国家低0.25~0.30；吨粮耗水1330m³，比发达国家高300~400m³。我国现阶段的节水灌溉还处于低水平发展阶段，田间灌溉多属传统的地面灌溉方式，喷灌、微灌及管道输水灌溉等先进节水灌溉技术覆盖率不足10%。

随着我国经济的发展和经济结构的调整与优化，对农田灌溉排水又提出了更高的要求。如在过去粮食短缺的情况下，我国灌溉排水工程建设的主要任务是扩大耕地和灌溉面积，提高灌溉保证率，增加粮食产量，缓解粮食短缺问题。现在农业连续多年丰收，粮食和其他主要农产品由长期的供不应求转变为阶段性供大于求，农业进入了一个新的发展阶段，农业和农村经济结构面临战略性调整。农业形势的这种变化对灌溉和排水的影响是深远的。中低产田的改造，城镇化建设，灌溉方式的变革，节水灌溉，农田园林化建设，农业现代化建设，农业生态建设和农业可持续发展等将是今后农田灌溉和排水的重要任务。

随着人口的增长和经济的快速发展，我国水资源短缺矛盾更加突出。20世纪90年代以来，全国平均每年因旱受灾的耕地面积约0.267亿hm²。正常年份全国灌区每年缺水300亿m³，城市缺水60亿m³。到2030年左右，我国人口将达到16亿，人均占有水资源量将减少1/5，降至1700m³左右；2050年前后将更加严峻。西北地区土地辽阔，水资源稀缺，水土流失严重，生态环境极为脆弱。水资源状况将是制约西部大开发的一个重要因素。

综上所述，我国农田灌溉与排水发展滞后，还存在不少问题，远不能满足农业稳定发展和产业结构调整的需要，灌溉排水建设任务艰巨。根据我国国民经济发展的“十五”计划和远景规划，到2005年全国有效灌溉面积达到0.56亿hm²；节水灌溉面积达到0.267亿hm²；灌溉水利用率达到0.5。5年内将对200座大型灌区进行以节水为中心的续建配套和更新改造，改良中低产田0.067亿hm²，山区实现人均一亩旱涝保收田。到2015年，在保证现状农业用水量不增的条件下，实现全国有效灌溉面积由现在的0.533亿hm²发展到0.58亿hm²，节水灌溉面积增加到0.4亿hm²，实现节水600亿m³，新增粮食生产能力600亿kg。为实现这些目标，就必须大力发展灌溉排水事业，为国民经济的可持续

发展奠定坚实的基础。

总之,我国灌排事业有着光辉的历史,特别是新中国成立 50 年来农田灌溉排水工程建设更加辉煌,为我国农业生产的稳步发展奠定了良好的基础。但是,现有的灌排工程还存在着不少问题,还不能满足农业生产进一步发展的需要。因此,大力发展灌溉排水仍是今后的长期任务。这不仅要继续提高抗御水旱灾害的能力,而且要提高科学管理水平与科技含量,进一步节约灌溉用水,扩大灌溉、除涝、排渍、治碱的工程效益。实现农田灌排现代化,把灌溉排水工程建设推向新的高度,是我们面临的重要任务。

第三节 灌溉排水的主要内容

灌溉和排水是调节农田水分不足或过多的主要措施。农田水分不足或过多,都会影响作物的正常生长和产量。引起农田水分过多或不足的主要原因是水旱灾害。所以,灌溉和排水措施中所涉及的农田水分运动规律、灌溉排水系统规划设计原理与方法、灌排水技术以及灌排工程管理等都是灌溉排水的主要内容。

灌溉工程的任务在于通过引水、蓄水、提水等措施,改变水资源的时空分布,解决供需水量之间的矛盾,适时、适量地满足农业用水要求;排水工程的任务是排除多余的地面水和过多的土壤水分,控制地下水位,与灌溉措施密切配合,为农业生产创造良好的土壤环境,使低产土壤得到改良。灌溉排水工程是合理利用水资源,充分挖掘农业生产潜力,保证农业高产、稳产和顺利实现农业现代化的重要物质基础。

思考与练习

1. 试述我国灌溉排水在农业发展中的重要作用。

2. 试述我国灌溉排水事业发展现状及存在的问题。

3. 灌溉排水的基本任务和主要内容是什么?

第二章 灌溉用水量

第一节 农田水分状况

农田水分状况一般是指农田中的地面水、土壤水和地下水的数量、形态及在时空上的变化。作物生长发育要求有适宜的生长环境，灌溉排水工程的目的就是为了调节农田水分状况，改善土壤中的水、肥、气、热状况，为作物生长创造适宜的环境，以达到高产、稳产的目的。

一、土壤水分类型

土壤水是指吸附于土壤颗粒表面和存在于土壤孔隙中的水分。土壤水和普通水一样，也有固态、气态和液态三种状态。固态水和气态水含量很少，不能直接被作物利用；液态水是土壤水分的主要形态，与作物生长发育有着密切的关系。液态水按其受力情况和运动特性可分为吸湿水、膜状水、毛管水和重力水4种类型。

1. 吸湿水

吸湿水是指空气中的水汽在分子引力作用下而被吸附于土粒表面上的水。土粒的吸附力很大，可达 $1000\sim 3.1\text{MPa}$ ，远远超过作物根系的吸水能力（平均 1.5MPa 左右），属于土壤中的无效水。当空气相对湿度接近饱和时，吸湿水的含量达到最大，此时的土壤含水率称为吸湿系数。

2. 膜状水

当土壤含水率达到吸湿系数后，土粒的分子引力已不能再从空气中吸附水分子，但土粒表面仍有剩余的分子引力。在剩余的分子引力作用下，土壤孔隙中的液态水被吸附于吸湿水的外围，形成薄薄的水膜，这层水叫膜状水，又称薄膜水。膜状水的内层紧靠吸湿水，吸附力很强，随着膜状水的水膜厚度加大，所受吸附力逐渐减小，逐步呈自由状态。当膜状水达到最大值时的土壤含水率，叫最大分子持水率，其值约为吸湿系数的 $2\sim 4$ 倍。土壤中只有少部分膜状水能被作物吸收利用，属于半有效水。

3. 毛管水

毛管水是在毛管力的作用下保持在土壤细小孔隙中的水。毛管水所受的吸力为 $0.625\sim 0.01\text{MPa}$ ，在土壤中可以上下左右移动，是供作物吸收利用的主要水分类型，属于最有效水。根据水分补给情况，毛管水又分为毛管悬着水与毛管上升水两种。

(1) 毛管悬着水。是指在降雨或灌溉时，入渗到土壤中的水在毛管力作用下保持在上层土壤孔隙中的水体。这一部分水体不与地下水相连，不受地下水位升降的影响，与地下水埋深无关，只与土壤质地和降雨或灌水量的大小有关。当毛管悬着水达最大值时的土壤含水率叫田间持水率，是土壤中所能保持的最大含水率，常将其作为旱田灌溉的上限指标。

(2) 毛管上升水。是指在毛管力作用下,地下水沿着土壤毛管孔隙上升而保存在毛管孔隙中的水体。毛管水上升的高度和速度与土壤质地、结构和排列层次有关。土壤粘重,毛管水上升高,但速度慢;质地轻的土壤,毛管水上升低但速度快。在毛管水上升高度内,离地下水水面越近,毛管水越多;离地下水水面越远,毛管水越少。

毛管力的大小与土壤含水量的多少有关,含水量多毛管力小,含水量少毛管力大。因此,在毛管力的作用下,毛管水可向各个方向移动,从毛管力小的地方向毛管力大的地方移动,即从毛管水多的地方向毛管水少的地方移动。

4. 重力水

当土壤含水率超过田间持水率后,超过田间持水率的那部分水将在重力作用下垂直向下移动,这部分水叫重力水。重力水是一个相对概念,在上部土层中其表现形式为重力水,而向下移动至下层干燥土层时,保持在下部土层中一部分水,将成为非重力水,如毛管水等。当其下渗至地下水水面时,就转化为地下水,并抬高地下水位。重力水在移动过程中能被作物吸收利用,但因其在上层土壤中滞留的时间很短,作物吸收利用的数量很少,故重力水属于过多的水。

土壤中所保持的水分,并不都能被作物吸收利用,这主要取决于作物吸水力与土壤持水力的对比情况。作物根系吸水力的大小与作物种类、品种及发育阶段有关。土壤持水力与土壤质地和土壤含水率有关,含水率越大,土壤持水力越小;反之亦然。当土壤含水率小到一定程度,土壤持水力与作物的吸水力接近相等时,作物就不能从土壤中吸收水分,此时的土壤含水率称为凋萎系数。由于土壤含水率降至凋萎系数时,作物将出现永久凋萎,这时再灌水为时已晚。因此,在生产实践中通常以作物生长开始受到抑制,下部叶子开始萎蔫时的土壤含水率作为控制土壤含水率的下限,并将其称为初期凋萎系数,其值约为田间持水率的55%~60%。在实际生产中,一般将田间持水率作为土壤有效含水率的上限,而将初期凋萎系数作为土壤有效含水率的下限。

二、土壤含水率的表示方法

土壤含水率又叫土壤湿度或土壤墒情,它是衡量土壤中含有水分多少的数量指标。表示土壤含水率的常用的方法有以下几种。

1. 以水分质量占干土质量的百分数表示

这种方法可用称重法直接测定出来,以土壤中水分质量占干土质量的百分数表示,计算公式为

$$\beta_{\text{质}} = \frac{m_{\text{水}}}{m_{\text{干土}}} \times 100\% = \frac{m_{\text{湿土}} - m_{\text{干土}}}{m_{\text{干土}}} \times 100\% \quad (2-1)$$

式中 $m_{\text{水}}$ 、 $m_{\text{湿土}}$ 、 $m_{\text{干土}}$ ——土壤中的水、湿土和干土的质量, g。

2. 以土壤水分体积占土壤体积的百分数表示

这种方法表示明确,计算方便,但实测困难。在生产实践中,常用含水率的质量百分数换算而得,计算公式为

$$\beta_{\text{容}} = \frac{V_{\text{水}}}{V_{\text{土}}} \times 100\% = \beta_{\text{质}} \rho_{\text{土}} / \rho_{\text{水}} \quad (2-2)$$

式中 $V_{\text{水}}$ 、 $V_{\text{土}}$ ——土壤中的水分体积和土体体积, cm^3 ;

$\rho_{\pm}$ ——土壤干密度, g/cm^3 ;
 $\rho_{\text{水}}$ ——水的密度, g/cm^3 , 数值为 1。

3. 以土壤水分体积占土壤孔隙体积的百分数表示

该方法表明水分对土壤孔隙充满的程度, 实测困难, 常用含水率的质量百分数换算, 计算公式为

$$\beta_{\text{孔}} = \frac{V_{\text{水}}}{V_{\text{孔}}} \times 100\% = \frac{\beta_{\text{质}} \rho_{\pm}}{A \rho_{\text{水}}} \quad (2-3)$$

式中 $V_{\text{孔}}$ ——土壤中的孔隙体积, cm^3 ;

A ——土壤孔隙率 (占土壤体积百分数)。

4. 以土壤实际含水率占田间持水率的百分数表示

这种表示方法是指相对含水率, 计算公式为

$$\beta_{\text{相对}} = \frac{\beta_{\text{实}}}{\beta_{\text{田}}} \times 100\% \quad (2-4)$$

式中 $\beta_{\text{相对}}$ 、 $\beta_{\text{实}}$ 、 $\beta_{\text{田}}$ ——土壤的相对含水率、实际含水率和田间持水率, 以百分数表示。

5. 以水层厚度表示

它是将某一土层中所含的水量折算成水层厚度来表示土壤的含水率, 以 mm 为单位。

三、适宜的农田水分状况及其调节

农田中的地面水、土壤水和地下水的状况必须适宜, 才有利于作物生长发育。

(一) 旱作区适宜的农田水分状况

旱作地区各种形式的农田水分, 并非全部能被作物直接利用。如地面水和地下水必须适时适量地转化为根系吸水层 (可供根系吸水的土层, 略大于根系集中层) 中的土壤水, 才能被作物吸收利用。

旱作区农田田面一般不允许长期积水, 若长时间被积水淹泡就会导致旱作物生长发育不良, 可能造成减产甚至死亡。衡量旱作物忍受耐淹程度的指标称为作物耐淹能力或耐涝能力, 即在不明显影响产量的前提下作物能忍受田面淹水的深度和淹水的时间。作物耐淹能力与作物的类别、品种、生育阶段等因素有关。高秆作物耐淹能力一般比矮秆作物强, 植株健壮的作物耐淹能力比瘦弱的作物强。田面淹水越深, 淹水历时越长, 温度越高, 作物越不耐淹。作物生长发育阶段不同, 耐淹能力也有显著差异。不同作物的耐淹能力详见第六章。

在作物生育期内, 若土壤水分过多, 超过了田间持水率, 甚至达到饱和含水率, 此时土壤中所有大小孔隙都被水分所充满, 致使土壤内空气减少, 从而造成根系缺氧和呼吸困难, 影响根系对水分和养分的吸收, 甚至烂根死亡; 若土壤水分过少, 就不能满足作物需水要求。因此, 为了保证作物正常生长发育, 必须要求土壤含水率在一定的界限范围内, 通常均以适宜土壤含水率表示。适宜土壤含水率是指在作物的任一时段内都能保证作物正常生长发育所需要的土壤含水率, 一般以田间持水率的百分数表示。适宜土壤含水率随作物种类和品种及其生育阶段的需水特点、土壤质地与结构、施肥等农业技术措施和气象条件的不同而异, 其范围一般是在 $(0.6 \sim 1) \beta_{\text{田}}$ 之间。

旱作物对地下水的主要要求是地下水位适宜,以防止渍害和盐碱灾害的发生。一般要求地下水埋深不小于适宜埋深,而在降雨或灌水后,则要求地下水位在允许的时间内回降到适宜的地下水埋深。作物所要求的适宜地下水埋深因作物种类、品种、发育阶段以及土壤质地等条件不同而异,一般应大于1m,详细内容参见第五章。此外,在地下水位较高且又含盐碱成分的土壤上种植旱作物时,为了防止土壤盐碱化,要求地下水埋深必须在地下水临界深度以下。地下水临界深度是指开始引起盐碱化并危害作物正常生长的最小的地下水埋深,其大小与土壤质地、地下水含盐量、气象条件以及灌溉排水条件和农业技术措施等有关,其深度一般应根据实地调查和观测试验资料确定。我国北方地区采用的地下水临界深度参见第六章。

(二) 水稻地区适宜的农田水分状况

水稻是一种喜水作物,有较强的耐涝能力。自古以来,水稻都是在淹水栽培条件下生长的,因而田面需经常保持一定深度的水层,以满足水稻的生理要求。但是,稻田的淹水深度不宜过深,时间不能过长,否则会造成土壤空气缺乏,微生物活动减弱,有机质分解缓慢,有毒物质增多,根系发育不良,吸收能力衰减,且易造成发病条件。因此,生产实践中多采用浅水勤灌、适时晒田的灌水技术,使水层深度经常处于适宜水层的上、下限之间。适宜水层的上、下限随水稻种类、品种和生育阶段而不同,应根据试验成果和群众灌水经验确定。

水稻地区的地下水位过高和过低,都对水稻生长不利。地下水位过高,土壤长期处于淹水状态,水、肥、气、热失调,有毒物质积累,早期由于地温低而生长缓慢,中期因烤田不好而造成根系早衰,后期茎叶枯死,造成减产。地下水位过低,则渗漏大,灌溉用水多,对水稻生长也不利。据调查,南方一些地区高产稻田的地下水埋深一般是在0.5~0.7m之间。

(三) 农田水分状况的调节

作物生长发育要求有适宜的农田水分状况,但在天然条件下农田水分状况和作物需水要求常常是不相适应的。农田水分过多或不足的现象经常出现,这就需要采取工程措施加以调节,以便为作物生长发育创造良好的条件。

农田水分过多的原因有:降水量过大,河流洪水泛滥,湖泊漫溢,海潮侵袭和坡地水进入农田;地形低洼,地下水汇流和地下水位上升,出流不畅等。农田水分过多,如果是由于降雨过多,不能及时排除,使田面积水,造成的灾害叫涝灾;由于地下水位过高或土壤上层滞水,使土壤长期过湿,危害作物生长,叫渍灾;因江、河、湖泛滥而形成的灾害称为洪灾。

农田水分不足的原因有:降水量少,降雨形成的地面径流大量流失,土壤入渗水量少和蓄水能力差,蒸发量过大等。农田水分不足而造成作物减产的灾害称为旱灾。

当农田水分不足时,一般应采取灌溉措施增加农田水分;当农田水分过多时,主要应采取排水措施,排除过多的水量。除了灌溉和排水外,蓄水也是调节农田水分状况的重要措施。蓄水既可以为灌溉提供水源,又可减轻排水负担。

调节农田水分状况,除采取水利措施外,还应与平整土地、深翻改土、植树种草、增施有机肥料和种植抗旱耐涝的作物等农业技术措施相结合,实行综合治理。

第二节 作物需水量计算

一、作物需水量的概念

农田水分消耗的途径主要有三种，即作物的叶面蒸腾、棵间蒸发和深层渗漏。

叶面蒸腾是指作物根系从土壤中吸入体内的水分，通过作物叶片的气孔散发到大气中的现象。棵间蒸发是指植株间的土壤表面或水面的水分蒸发现象。深层渗漏是指农田中由于降雨量或灌水量太多，使田间土壤含水率超过了田间持水率，超过的水分向根系活动层以下的土层渗漏的现象。对于旱田，深层渗漏一般是无益的，会造成水分和养分的流失。对于水稻田，深层渗漏是不可避免的。由于水稻田经常保持一定深度的水层，所以稻田经常产生渗漏，且数量较大，影响作物的生长发育，造成减产。但稻田有适当的渗漏量，可以促进土壤通气，改善还原条件，消除由于土壤中氧气不足而产生的硫化氢、氧化亚铁等有毒物质，有利于作物生长。

在上述几项水量消耗中，叶面蒸腾是作物生长所必需的，一般称为生理需水。棵间蒸发伴随着作物生长的全过程，它本身对作物生长没有直接影响，但在一定程度上可以改善田间小气候，一般称为生态需水。叶面蒸腾和棵间蒸发都主要受气候条件的影响，且二者互为消长，通常把二者合称为腾发，所消耗的水量称为腾发量，即作物需水量。事实上，作物需水量包括作物的叶面蒸腾、棵间蒸发和构成作物组织的水量。由于构成作物组织的水量很少，实用上常忽略不计，而以作物叶面蒸腾和棵间蒸发之和作为作物需水量。作物的叶面蒸腾、棵间蒸发和深层渗漏量之和常称为田间耗水量。对于旱作物田块，深层渗漏量很小，可以忽略不计，水稻田的渗漏量则是不可避免的。所以，旱作物的田间耗水量就等于作物需水量，而水稻的田间耗水量等于作物需水量与深层渗漏量之和。

二、作物需水规律与需水临界期

(一) 作物需水规律

作物全生育期中的日需水量是逐日变化的，一般规律是：幼苗期和接近成熟期日需水量少，而发育中期日需水量最多，生长后期需水量逐渐减少。在全生育期内，作物需水量是由低到高再降低的变化过程。其中，需水量最大的时期称为作物需水高峰期，大多出现在作物生育旺盛、蒸腾强度大的时期。

(二) 作物需水临界期

在作物全生育期内，日需水量最多，对缺水最敏感，影响产量最大的时期，称为作物需水临界期或需水关键期。不同的作物需水临界期不同，粮食作物的需水临界期大多出现在营养生长向生殖生长过渡的时期，与作物需水高峰期相同或接近。有些作物的需水临界期可能有两个或三个。根据各种作物需水临界期不同的特点，可以合理选择作物种类和种植比例，使用水不致过分集中；在干旱缺水时，应优先灌溉处于需水临界期的作物，以充分发挥水的增产作用，收到更大的经济效益。

三、作物需水量计算

影响作物需水量的因素有气象（如温度、日照、湿度、风速等）、土壤（如土壤质地、土壤肥力、含水量等）、作物品种及其生长阶段、农业技术措施、灌溉排水措施等。这些